УДК 004.7:621.391

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ IOT-ПРИСТРОЯМИ В ЛОКАЛЬНІЙ WI-FI МЕРЕЖІ

Садченко А.В., к.т.н., доц.[1]; Кушніренко О.А.[2]; Кузняк С.С.[3]; Сантоній М.О.[4]
Національний університет «Одеська політехніка», Україна, Одеса
[1] sadchenko@op.edu.ua; [2] koa@op.edu.ua; [3] 7466907@stud.op.edu.ua;
[4] 2492626@stud.op.edu.ua

Анотація. *Розроблено алгоритм комплексного оцінювання якості зв'язку між IoT-пристроями в локальній Wi-Fi мережі на основі математичного моделювання загасання сигналу, показників рівня прийнятого сигналу і відношення сигнал/шум та пропускної здатності каналу. Реалізовано MATLAB-застосунок для дослідження впливу параметрів радіоканалу й кількості підключених пристроїв на швидкість передавання даних і дальність зв'язку. Отримані результати можуть бути використані для аналізу та попереднього налаштування локальних бездротових IoT-мереж.*

Ключові слова: *Інтернет речей; Wi-Fi мережа; якість зв'язку; пропускна здатність; математичне моделювання.*

Вступна частина. Розвиток технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) зумовлює збільшення кількості пристроїв, що взаємодіють у локальних бездротових мережах. Однією з поширених технологій їх об'єднання є Wi-Fi, яка забезпечує передавання даних між пристроями в системах розумного будинку, промислової автоматизації та моніторингу. Водночас збільшення кількості підключених пристроїв створює додаткове навантаження на радіоканал і може спричиняти зниження пропускної здатності та надійності зв'язку.

Якість бездротового з'єднання залежить від відстані між пристроями, потужності передавача, частотного діапазону, ширини каналу, рівня шуму та кількості активних абонентів. Тому актуальним є розроблення алгоритмів комплексного оцінювання, які враховують сукупний вплив фізичних характеристик радіоканалу та мережевого навантаження.

У сучасних дослідженнях C. Bayılmış та співавторів [1], V. Kumar та співавторів [2], V. Sathya та співавторів [3] розглянуто продуктивність IoT-мереж, ефективність бездротових технологій і вплив мережевого навантаження на передавання даних. Проте окреме використання показників – рівня прийнятого сигналу (RSSI), відношення сигнал/шум (SNR) або пропускної здатності не забезпечує комплексної характеристики якості з'єднання, а експериментальні методи потребують наявності відповідного обладнання. Це обґрунтовує доцільність розроблення програмного засобу для моделювання різних умов функціонування локальних Wi-Fi мереж.

Метою роботи є розроблення алгоритму комплексного оцінювання якості зв'язку між IoT-пристроями в локальній Wi-Fi мережі на основі математичного моделювання характеристик радіоканалу та мережевого навантаження, а також його програмна реалізація в середовищі MATLAB.

Для досягнення поставленої мети було проаналізовано методи оцінювання якості бездротового зв'язку в IoT-мережах, визначено основні параметри, що впливають на характеристики радіоканалу, та розроблено математичну модель поширення сигналу й

оцінювання пропускної здатності. Також сформовано алгоритм урахування впливу кількості підключених пристроїв на ефективність зв'язку, реалізовано програмний застосунок у середовищі MATLAB для налаштування параметрів мережі та візуалізації результатів моделювання, а також досліджено вплив параметрів Wi-Fi мережі на якість зв'язку між IoT-пристроями.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмного засобу для моделювання умов функціонування локальних Wi-Fi мереж, оцінювання впливу мережевого навантаження.

Основна частина. Для оцінювання загасання радіосигналу застосовано логарифмічну модель втрат поширення. Відповідно до неї втрати потужності сигналу на відстані d визначаються за виразом:

$$\mathrm{PL(d)} = \mathrm{PL(1\ м)} + 10\mathrm{n}\lg(\mathrm{d}),$$

де PL(d) – втрати потужності сигналу на відстані d; PL(1 м) – втрати на відстані одного метра; n – показник загасання середовища; d – відстань між передавачем і приймачем.

RSSI визначається як різниця між потужністю передавача та втратами поширення:

$$P_rx(d) = P_tx - PL(d),$$

де P_tx – потужність передавача, dBm.

Наступним етапом є визначення SNR, яке характеризує якість приймання сигналу на фоні шумів:

$$SNR(d) = P_rx(d) - N_0,$$

де N_0 – рівень фонового шуму, dBm.

Для оцінювання теоретичної пропускної здатності радіоканалу використовується формула Шеннона:

$$\mathrm{C(d)} = \mathrm{B} \cdot \log_2\left(1 + 10^{\frac{\mathrm{SNR(d)}}{10}}\right),$$

де C(d) – теоретична пропускна здатність каналу; B – ширина каналу зв'язку, Гц.

Окремо враховується вплив кількості пристроїв на ефективність використання спільного радіоканалу. Для цього реалізовано спрощену модель деградації пропускної здатності внаслідок конкуренції за доступ до середовища передавання за механізмом CSMA/CA:

$$\eta_{\mathrm{MAC}} = \frac{1}{1 + 0.04(\mathrm{N} - 1)}$$

де η_MAC – коефіцієнт ефективності доступу до середовища; N – кількість IoT-пристроїв.

З урахуванням зазначеного коефіцієнта визначається оцінка реальної швидкості передавання даних, а також її розподіл між підключеними пристроями:

$$V_{total}(d) = V_{max}(d) \cdot \eta_{MAC},$$
$$[V_{device}(d) = \frac{V_{total}(d)}{N}],$$

де V_total – оцінка сумарної швидкості мережі; V_device – оцінка швидкості для одного пристрою; V_max – швидкість передавання до врахування впливу мережевого навантаження.

Також в алгоритмі реалізовано визначення умов доступності зв'язку на основі порівняння рівня прийнятого сигналу з чутливістю приймача. Залежно від отриманого значення RSSI визначається орієнтовний режим модуляції та кодування (MCS), якому відповідає певний рівень швидкості передавання даних. Якщо рівень сигналу нижчий за поріг чутливості приймача, з'єднання вважається недоступним.

Для практичної реалізації алгоритму розроблено MATLAB-застосунок із графічним інтерфейсом, що забезпечує налаштування параметрів Wi-Fi мережі в залежності від кількості IoT пристроїв та автоматичне відображення результатів моделювання, рис. 1.

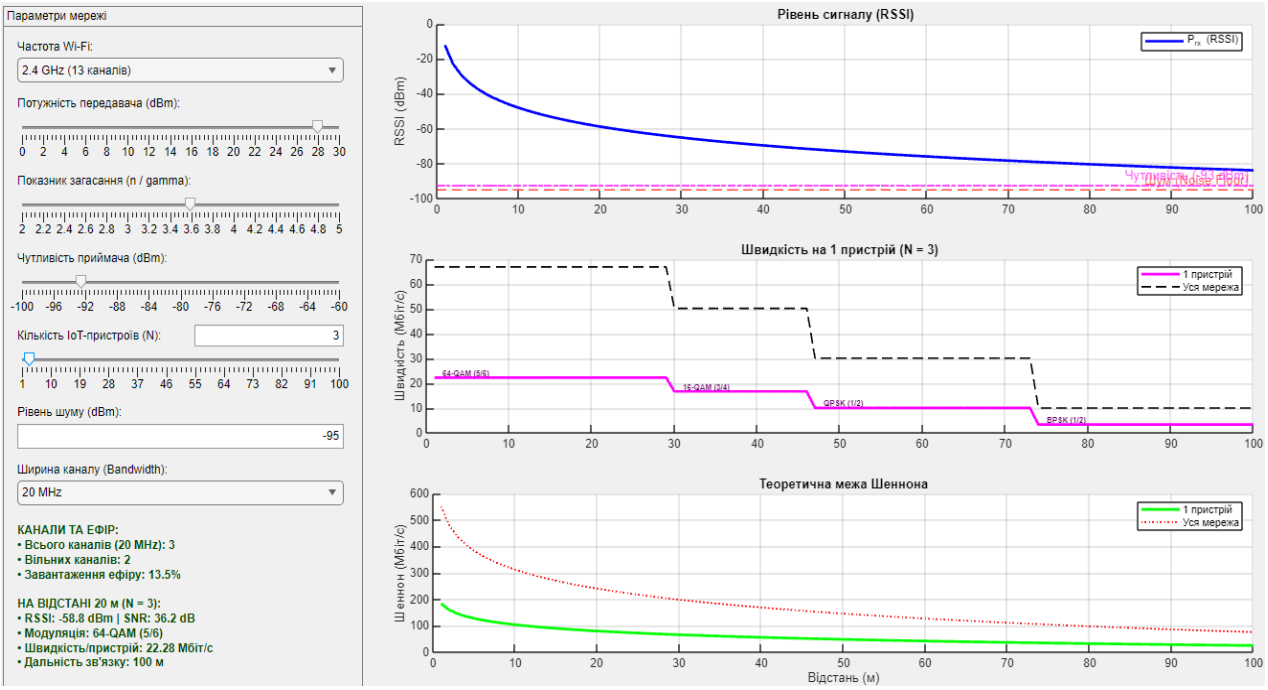


Рисунок 1 – MATLAB-застосунок із графічним інтерфейсом, що забезпечує налаштування параметрів Wi-Fi мережі в залежності від кількості IoT пристроїв

Інтерфейс застосунку містить панель налаштування частотного діапазону (2,4 або 5 ГГц), потужності передавача, загасання сигналу, чутливості приймача, рівня шуму, ширини каналу та кількості IoT-пристроїв.

Результати моделювання відображаються на трьох графіках: залежність RSSI від відстані з позначенням порогів чутливості та шуму; зміна швидкості передавання даних для окремого пристрою й усієї мережі; теоретична пропускна здатність каналу за формулою Шеннона. Додатково інформаційний блок відображає оцінки завантаженості ефіру, RSSI, SNR, режиму модуляції, швидкості передавання та максимальної дальності зв'язку.

Отже, застосунок дає змогу досліджувати вплив параметрів радіоканалу та кількості підключених пристроїв на якість Wi-Fi зв'язку, порівнювати різні сценарії функціонування IoT-мережі та визначати умови погіршення передавання даних.

Висновки. Розроблено алгоритм комплексного оцінювання якості зв'язку між IoT-пристроями, що враховує загасання радіосигналу, показники RSSI і SNR, пропускну здатність каналу та вплив кількості підключених пристроїв. У середовищі MATLAB реалізовано програмний застосунок для моделювання параметрів Wi-Fi мережі та графічного відображення залежностей рівня сигналу, швидкості передавання даних і пропускної здатності від відстані. Результати моделювання дають змогу оцінювати вплив параметрів радіоканалу й мережевого навантаження на швидкість передавання даних і дальність зв'язку без використання фізичного обладнання.

Використання інструментів ШІ. Gemini 3, пошук джерел для літературного огляду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Bayılmış C., Ebleme M. A., Çavuşoğlu Ü., Küçük K., Sevin A. (2022). A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things. *Digital Communications and Networks,* 8(6), 1094–1104. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2022.03.013

[2] Kumar V., Yadav P., Indrusiak L. S. (2023). Resilient Edge: Building an adaptive and resilient multi-communication network for IoT Edge using LPWAN and WiFi. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 20(3), 3055–3071. https://doi.org/10.1109/TNSM.2022.3228291.

[3] Sathya V., Zhang L., Sahin O., Yavuz M. (2024). Enterprise Approach: Performance Analysis of Wi-Fi 6 and 5G Private LAN With Micro-Slicing Feature. *IEEE Access*. 12, 119207–119222. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3445295.

Sadchenko A., Kushnirenko O., Kuzniak S., Santonii M.

Algorithm for Comprehensive Assessment of Communication Quality Between IoT Devices in a Local Wi-Fi Network

Abstract. *An algorithm for comprehensive assessment of communication quality between IoT devices in a local Wi-Fi network is developed. It is based on mathematical modeling of signal attenuation, RSSI and SNR indicators, and channel capacity. A MATLAB application is implemented to investigate the influence of radio channel parameters and the number of connected devices on data transmission rate and communication range. The results can be used for analysis and preliminary configuration of local wireless IoT networks.*

Keywords: *Internet of Things; Wi-Fi network; communication quality; channel capacity; mathematical modeling*